

오류 허용 양자 컴퓨팅 향한, 다채로운 방식으로 오류 수정

(2025.01.08., 양자정보연구지원센터)

- 오류 수정을 위한 ‘다채로운’ 접근 방식을 통해 오류 허용 양자 컴퓨팅을 한 걸음 더 가까이 다가감
 - 최근 구글 주도 연구팀은 색 코드(color code)라는 새로운 오류 수정 방법을 사용하여 양자 프로세서의 효율성을 높이고 높은 정확성을 유지할 수 있음을 증명
 - 초전도 큐비트를 사용하여 색 코드를 구현하고 오류율을 줄이고 논리 연산 효율성을 증명함
 - 양자 오류 수정의 발전에 중요한 이정표로, 오류 허용 양자 컴퓨팅의 가능성을 더욱 높임
 - 양자 오류 수정은 고에러율을 가진 물리적 양자 장치를 실용적인 응용 프로그램에 필요한 초저에러율로 연결하는 중요한 기술임
 - 기존에 널리 사용되는 표면 코드(surface code)는 견고하지만, 큐비트 자원이 많아 확장성에 한계가 있음
 - 색 코드는 구현이 더 어려운 대신 효율성과 논리 연산 성능에서 중요한 장점을 제공하며, 확장 가능성 측면에서 표면 코드의 경쟁자가 될 수 있음
 - 연구팀은 색 코드의 거리(code distance)를 증가시켜 오류율을 1.56배 줄이는 성과를 거둠
 - 색 코드로 구현된 논리 연산은 기존 오류 수정 사이클보다 훨씬 적은 오류율을 보임
 - ‘매직 상태’ 주입(Magic state injection)을 통해 유니버설 계산을 위한 중요 과정을 처리했으며, 높은 정확도(99%)와 데이터 유지율(75%)을 달성함
 - 논리 큐비트 간 상태 텔레포트에 대해 86.5%에서 90.7%의 신뢰도

를 기록하며 다중 큐비트 연산에서 실용성을 입증함

○ 색 코드의 특성과 구현

- 색 코드는 3가지 색이 결합된 격자 구조를 통해 큐비트를 배열하는 방식으로, 표면 코드보다 논리 연산을 더 효율적으로 처리함
- 표면 코드는 오류를 감지하는 과정이 비교적 단순하지만 많은 큐비트를 필요로 하는 반면, 색 코드는 더 복잡한 오류 검출 방식이지만, 적은 큐비트로 더 효율적인 논리 연산이 가능함
- 연구팀은 물리적 큐비트 성능을 개선하기 위해 최적화된 회로와 알고리즘을 사용함

○ 한계점 및 도전 과제

- 색 코드는 더 복잡한 오류 감지와 더 높은 하드웨어 품질을 요구하기 때문에 기존 표면 코드보다 구현이 어려운 단점이 있음
- 특히 2큐비트 게이트 연산에서 오류가 지속적으로 발생하며, 이 문제 해결이 필요함
- 기존 양자 아키텍처와의 통합이 어려운 점도 과제로 남아 있으며, 이를 해결하기 위한 공학적 노력이 필요함

○ 미래 방향 및 잠재력

- 색 코드가 확장 가능하고 한계가 해결되면 양자 오류 수정 방법을 혁신할 수 있음
- 비용 절감, 시스템 접근성 향상, 고정밀도 연산 요구가 큰 분야(암호학, 물질 시뮬레이션 등)에 유리함
- 더 나은 물리적 큐비트 성능과 실시간 오류 수정 알고리즘이 발전하면 색 코드를 대규모 시스템에 적용할 수 있음
- 다른 오류 수정 방법과의 하이브리드 접근법을 연구하여 효율성과 견고성을 동시에 갖춘 방법을 개발할 계획임

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2024/12/22/researchers-take-a-colorful-approach-to-error-correction-to-bring-fault-tolerant-quantum-computing-a-step-closer/>